

**MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DA  
SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ATRAVÉS DO USO DO ÓLEO DE  
COZINHA RECICLADO EM VEÍCULOS COLETORES DE RESÍDUOS**

COMPUTATIONAL MODELING FOR EVALUATING ENVIRONMENTAL  
SUSTAINABILITY THROUGH THE USE OF RECYCLED KITCHEN OIL IN WASTE  
COLLECTION VEHICLES

Glauco Oliveira **RODRIGUES**  
Universidade Federal de Santa Maria

Eugênio De Oliveira **SIMONETTO**  
Universidade Federal de Santa Maria

Eliejeane Dos Santos **SALES**  
Universidade Federal de Santa Maria

Vagner Naysinger **MACHADO**  
Universidade Federal de Santa Maria

Anieli Ebling **BULÉ**  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha - IFFar

Gabrielle Fagundes **POSTIGLIONI**  
Universidade Federal de Santa Maria

Artigo recebido em 04/2019 – Aprovado em 12/2020

**Resumo**

Este trabalho apresenta a compreensão, desenvolvimento e execução de modelos computacionais, os quais têm por funcionalidade principal a geração de alternativas para o processo decisório no que se refere ao combustível de coleta de resíduos sólidos e descarte do óleo residual. Para o desenvolvimento dos modelos, utilizou-se o método de Dinâmica de Sistemas. Matematicamente, um modelo de Dinâmica de Sistemas constitui-se em um sistema de equações lineares. Em geral, esse sistema é muito complexo para ser resolvido analiticamente e, por isso, usa-se a integração numérica. Através do Vensim, foi possível desenvolver, documentar, simular e analisar os modelos, constatando o impacto ambiental e social causado pela coleta nos sete municípios estudados. Quanto à implementação no simulador Vensim (Vensim, 2016),

foram utilizados dados históricos para a verificação da integração entre os módulos componentes do modelo, bem como dos resultados gerados, uma vez que foram avaliadas as saídas produzidas pelo modelo de simulação a partir de dados reais fornecidos aos mesmos. Em ambos os casos, os resultados foram satisfatórios e atenderam as expectativas dos projetistas. Notaram-se os benefícios ocasionados pela extensão do ciclo de vida do óleo residual. Com os resultados gerados pelo modelo de simulação, os gestores podem, antecipadamente, discutir, avaliar e decidir possíveis medidas necessárias para um melhor desempenho financeiro e ambiental nos custos relacionados à aquisição de combustível para realizar a coleta dos resíduos sólidos urbanos.

**Palavras-chaves:** Biodiesel, Modelagem Computacional e Sustentabilidade Ambiental.

<http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea>

#### **ABSTRACT**

*This work presents the understanding, development and execution of computational models, whose main function is the generation of alternatives for the decision making process with respect to solid waste collection fuel and waste oil disposal. For the development of the models, the system dynamics method was used. Mathematically, a Systems Dynamics model is a system of linear equations. In general, this system is very complex to be solved analytically and, therefore, numerical integration is used. Through Vensim, it was possible to develop, document, simulate and analyze the models, noting the environmental and social impact caused by the collection in the seven cities studied. As for the Vensim simulator implementation (Vensim, 2016), historical data were used to verify the integration between the component modules of the model, as well as the results generated, since the outputs produced by the simulation model were evaluated from data provided to them. In both cases, the results were satisfactory and met the expectations of the designers. The benefits of extending the residual oil life cycle were noted. With the results generated by the simulation model, managers can, in advance, discuss, evaluate and decide possible measures necessary for a better financial and environmental performance in the costs related to the acquisition of fuel to carry out the collection of urban solid waste.*

**KEYWORDS:** Biodiesel, Computational Modeling and Environmental Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a crescente alteração climática no planeta nos últimos anos, ligadas ao desmatamento e a emissão de monóxido de carbono na atmosfera, chama a atenção de estudiosos do mundo inteiro como, Lee (2010), Lam (2010), Masjuki (2011). Uma das causas desta elevação de alterações é a utilização de combustível fóssil, como o petróleo.

A dependência e o alto consumo desse combustível provocam mudanças climáticas, como, por exemplo, o aquecimento global. Salienta-se, também, que o consumo de combustíveis fósseis coloca em risco a poluição ambiental dos oceanos causada pelos derramamentos de óleo. Porém, a poluição do ar nas grandes cidades é, sem dúvida, o mais visível impacto da queima dos derivados de petróleo através sua combustão em motores automotivos, trazendo à tona discussões sobre soluções para diminuir o uso desse combustível (SANTOS E SILVA, 2016).

As grandes indústrias, tanto nacionais quanto internacionais, buscam formas para a diminuição de poluidores do meio ambiente. A aplicação de políticas de sustentabilidade nas grandes indústrias é uma excelente ferramenta de conscientização da população, dessa forma, as pessoas começam a repensar suas atitudes em relação ao meio ambiente (FREITAS *et al*, 2010).

Leite (2007) apresenta o biodiesel como sua expectativa por uma energia limpa. O biodiesel, segundo Martins e Junior (2014), é viável tecnicamente como combustível e, possivelmente, com vantagens em relação aos combustíveis derivados do petróleo. Dentre estas vantagens estão o fato de gerar um menor impacto ambiental e de ser proveniente de fontes renováveis (Fundação Getúlio Vargas, 2005). Além disso, apresenta alto potencial de biodegradabilidade e baixa toxicidade relativa (MEYER, 2011).

O biodiesel ganha espaço no mercado neste novo século, trazendo a opção para sua utilização em motores a diesel (MENDES, 2015). Essa atitude auxilia nas políticas de diminuição do uso do petróleo, conseqüentemente aumenta a renda de famílias agrárias, além de diminuir as emissões de gases causadores do efeito estufa. Sua inserção na matriz energética mundial é de suma importância, ofertando uma nova energia limpa e sustentável. Pode ser uma solução para a dependência de muitos países quanto ao petróleo (SOUZA *et al*, 2016).

Existem diferentes maneiras de produzir biodiesel, como por exemplo, a utilização do óleo de cozinha “pós-uso”. A partir desse modo de produção, contribui-se com a destinação correta do óleo de cozinha, seguindo a premissa que grande quantidade deste óleo ainda é despejada em lugares inadequados, causando grandes prejuízos à natureza (RODRIGUES *et al*, 2016). Há diversas pesquisas analisando o impacto da aquisição desse processo de produção, como as pesquisas de Bechetet *al*(2010), Demirbas (2009), Mendes(2015) e Zang e Kong (2010). Esse processo também é um claro exemplo das questões mais importantes para a busca do desenvolvimento sustentável.

Diante do exposto, apresenta-se o seguinte problema: Qual o impacto ambiental causado pela utilização do biodiesel em veículo de coleta de Resíduos Sólidos? Para

responder o problema o objetivo geral deste trabalho é desenvolver, verificar e avaliar modelos computacionais para avaliação dos impactos ambientais, ocasionados pela extensão do ciclo de vida do óleo de cozinha “pós-uso”, através da geração de biodiesel, que será utilizado na coleta de lixo urbano de sete municípios da região central do Rio Grande do Sul.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A partir de uma invenção na exposição mundial, que aconteceu em Paris no ano 1900, surgiu o biodiesel. Na ocasião, o Dr. Rudolf Diesel apresentou aos presentes um motor diesel de injeção indireta utilizando óleo de amendoim como combustível (KNOTHE *et al*, 2006). Nessa época, segundo Tavares e Da Silva (2008), motores com essa característica, eram alimentados por petróleo filtrado, óleos vegetais e, até mesmo, óleo de peixe. Dificuldades como acúmulo de resíduos gordurosos gerados pelo óleo vegetal levaram ao abandono dos estudos para produzir um combustível viável através de óleos vegetais.

Os estudos sobre o biodiesel foram esquecidos até o momento em que os países tiveram que pensar no desenvolvimento de fontes alternativas de energia que poderiam substituir, em parte ou totalmente, a primazia dos combustíveis fósseis (CARIOCA; ALMEIDA, 2011). O aumento do barril do petróleo em 1973 e 1979 viabilizou economicamente o desenvolvimento de uma nova fonte alternativa de combustível, como, por exemplo, o etanol (MENDES, 2015). Outro fator importante é o Protocolo de Kyoto, que tem como objetivo promover a redução sistemática na emissão de gases causadores do efeito estufa.

Na sessão a seguir será exposto detalhes sobre o Biodiesel, foco neste artigo de pesquisa.

### **2.1 BIODIESEL**

O biodiesel é visto, por muitos pesquisadores, como uma fonte de energia secular, que possui um crescimento recente. Apesar da existência de diversas tecnologias, as forças da atualidade têm evidenciado o biodiesel como um dos energéticos mais importantes, aguçando várias pesquisas em busca de uma energia verde adaptada aos temas econômicos, sociais e ambientais (VIDMANTAS *et al*, 2010).

Tavares e Da Silva (2008) definem o biodiesel como um combustível natural usado em motores a diesel, obtido a partir de matérias-primas vegetais ou animais. As matérias-primas vegetais são derivadas de óleos vegetais, tais como soja, mamona, palma (dendê), girassol, pinhão manso, amendoim, entre outros. Para uma definição mais estendida sobre esse combustível natural, classificamos o mesmo como um combustível renovável derivado de óleos vegetais ou gordura animal, utilizado em motores a diesel produzido através da remoção da glicerina, que ocorre através de processos químicos.

O combustível secular (biodiesel) é uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo, emitindo menos gases poluidores. Ele está sendo testado em países como a

Argentina, Estados Unidos, Malásia, Alemanha, França, entre outros (TAVARES E DA SILVA, 2008). O biodiesel é definido, segundo a lei nº 11.097 de 13 de setembro de 2005, como um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente o combustível fóssil. É obtido através de processos, tais como o craqueamento, esterificação, ou pela transesterificação, sendo esse último o processo mais utilizado para a sua produção.

O biodiesel possui viscosidade e características de combustão semelhante as do diesel de petróleo. Essas características são adquiridas através da reação química entre triglicerídeos ou ácidos graxos e um álcool de pequena cadeia carbônica (geralmente, metanol ou etanol). É denominado biodiesel, o biodiesel puro que também é chamado B100. Misturas de biodiesel com diesel mineral são denominadas por "BXX", onde "XX" refere-se à quantidade de biodiesel na mistura, por exemplo, B10 é uma mistura de 10% de biodiesel em 90% de diesel mineral (MENDES, 2015).

Segundo Mendes (2015), o conceito de biodiesel adotado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), é de um combustível natural, usados em motores diesel, produzido através de fontes renováveis e que atende a especificações da Resolução ANP nº 14, de 11 de maio de 2011. A ANP define o biodiesel como combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida no Regulamento Técnico ANP nº 4 de 2012, anexo da resolução ANP nº 14/2012 (BRASIL, 2008).

## 2.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL

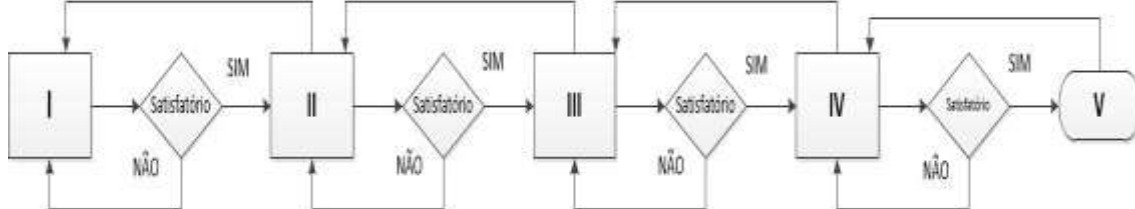
Modelagem Computacional é uma área de conhecimento multidisciplinar que trata da aplicação de modelos matemáticos e técnicas da computação à análise, compreensão e estudo da fenomenologia de problemas complexos em áreas tão abrangentes quanto às engenharias, ciências exatas, biológicas, humanas, economia e ciências. São representações incompletas e mais simples do que o objeto ou sistema em questão (COSTA, 2004). Para Andrade *et al*(2006), a modelagem computacional é uma das ferramentas do pensamento sistêmico que adicionam aprendizado ao processo e por meio da mesma constroem-se micromundos do sistema real.

Chwife Medina (2015) em seu livro descrevem a modelagem computacional como uma apresentação de sistemas reais, possuindo grande importância para entender a complexidade do mundo real. Um modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade as características de tempo, estado e natureza. A partir de *softwares* essas características capturadas são repetidas em um computador com o mesmo comportamento que o sistema real apresenta, auxiliando assim o processo decisório (CHWIF e MEDINA (2015).

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste artigo, o método de pesquisa para o desenvolvimento do modelo computacional foi baseado na metodologia apresentada por Law (2015) para modelagem computacional, o qual é constituído pelos seguintes passos apresentados na figura 1.

Figura 1. Fluxograma das etapas de aplicação do método de pesquisa



Fonte: Autor (2017)

A etapa (I) representa o estudo exploratório em artigos científicos, relatórios técnicos, entrevistas com *stakeholders* e observações do ambiente onde os dados foram coletados. Através desses dados, o problema de pesquisa foi especificado e estruturado. A etapa (II) apresenta o desenvolvimento da solução, através da construção de modelos formais capazes de representar o problema (definição das variáveis e seus relacionamentos). A implementação computacional da solução (etapa (III)), será realizada com o auxílio do simulador *Vensim* (VENTANA SYSTEMS, 2016) da área de Dinâmica de Sistemas. A etapa (IV) é responsável pela verificação e avaliação (v&a) da solução, através de testes em laboratório e análise do comportamento histórico (com os dados que foram possíveis), para verificar se os resultados obtidos representam parte da realidade observada, bem como através da simulação de um experimento utilizando nove cenários para tal. Também foram entrevistados gestores das áreas envolvidas para garantir uma maior fidedignidade ao estudo. Por fim, a pesquisa será analisada na etapa (V) onde serão expostas as diferenças entre as possibilidades existentes.

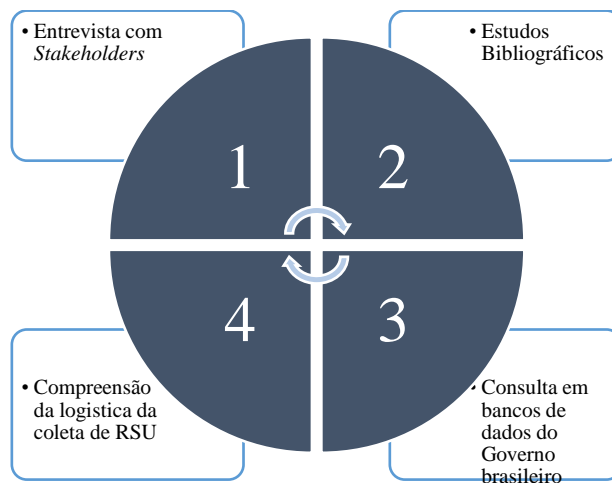
Neste trabalho, utiliza-se essa metodologia, porque vai ao encontro do objetivo principal do mesmo, o qual é avaliar em um horizonte futuro de tempo as possibilidades de benefícios ambientais e econômicos da reciclagem do óleo de cozinha pós-uso. O desenvolvimento dos modelos computacionais estão expostos na sessão quatro.

### 4. DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS COMPUTACIONAIS

A crescente busca pela redução da exploração dos recursos naturais da Terra e a necessidade da redução do uso de combustíveis fósseis, fazem com que gestores públicos invistam recursos em novas técnicas para um futuro mais sustentável. Na atualidade, busca-se um desenvolvimento mais sustentável reduzindo a produção e o consumo dos seres humanos, objetivando atender a necessidade do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

Pesquisadores como Maia (2015) e Mendes (2015) apresentam o biodiesel como uma solução para redução do impacto ambiental gerado pelo consumo excessivo do petróleo. A substituição de combustíveis fósseis por renováveis é uma tendência internacional. Seguindo esse pensamento, apresenta-se o desenvolvimento do modelo de simulação, expondo a sua avaliação dos impactos ambientais. As variáveis componentes do modelo foram definidas a partir de quatro etapas apresentadas na figura 2.

Figura 2. Etapas para criação das variáveis



Fonte: Autor (2017)

Foram entrevistados *stakeholders* responsáveis pela coleta de resíduos sólidos de sete municípios da região central do Rio Grande do Sul para entender o processo de coleta. Para a execução da segunda etapa, realizou-se um estudo bibliométrico com o objetivo de identificar as principais características da produção científica internacional relacionada ao biodiesel na última década e, também, buscou-se a base de dados de autores brasileiros como Maia (2015) e Mendes (2015). A terceira etapa é necessária para alimentar as variáveis responsáveis pelo armazenamento dos dados referentes a poluição ambiental. A partir de planilhas atualizadas foi possível projetar os dados ambientais em até 10 anos. A última etapa é necessária para a configuração dos enlaces entre as variáveis.

Os municípios utilizados para desenvolver os modelos computacionais e posteriormente simulados em um experimento computacional estão expostos na tabela 1.

A coleta de resíduos sólidos da região é realizada por 7 (sete) caminhões de lixo, que possuem um rendimento em média de 2,5 (dois vírgula cinco) quilômetros por litro. Cada município possui um caminhão responsável pela coleta. O recolhimento do lixo acontece de forma diferenciada, através da quantidade de habitantes de cada localidade. As coletas normalmente são realizadas de segunda a sábado para os municípios de 10.000 habitantes ou mais. Os municípios com 5 (cinco) até 10.000 (dez mil) habitantes possuem coleta 3 (três) vezes na semana. São Martinho da Serra possui o recolhimento do lixo urbano duas vezes na semana, já que possui uma população inferior a 5.000 (cinco mil) habitantes.



Tabela 1. Habitantes dos municípios estudados

Cidade	Habitantes.
Agudo	16.722
Cacequi	13.676
Faxinal do Soturno	6.672
Mata	5.111
Restinga Seca	15.849
São Francisco	19.254
São Martinho da Serra	3.201

Fonte. IBGE 2010

A coleta é trazida para Santa Maria, onde se localiza o único aterro sanitário licenciado da região. Os municípios focados neste estudo não possuem transbordo e nem triagem. Os valores referentes à coleta mensal do lixo urbano desta região estão expostos na tabela 2. Apresentam-se os valores referentes às coletas internas nos municípios e os valores compostos pelo envio da região estudada até o aterro da cidade de Santa Maria.

Tabela 2. Dados da coleta mensal

	Nº Coletas	Envio Aterro	Diesel Gasto	Coleta Interna	Diesel Gasto
<b>Agudo</b>	6 por semana	3403.2 km	1361.28 litros	500 km	200 litros
<b>Cacequi</b>	6 por semana	5952 km	2380.80 litros	480 km	192 litros
<b>Faxinal</b>	3 por semana	1406.4 km	562.56 litros	133.6 km	53.44 litros
<b>Mata</b>	3 por semana	1992 km	796.80 litros	109.8 km	43.92 litros
<b>Restinga Seca</b>	6 por semana	2827.2 km	1130.88 litros	493.4 km	197.36 litros
<b>São Francisco</b>	6 por semana	6672 km	2668.80 litros	515.6 km	206.24 litros
<b>São Martinho</b>	2 por semana	472 km	188.80 litros	42.8 km	17.12 litros
<b>Total</b>	N/C	19321.6	9089.92	2275.2	910.08

Fonte. Autor(2017)

#### 4.1 MODELAGEM COMPUTACIONAL DESENVOLVIDA

Foram utilizados dados atuais sobre a coleta de RSU na região central do estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de verificar a integração entre todas as variáveis compostas no modelo, bem como dos resultados gerados, já que foram avaliadas as



saídas produzidas pelo modelo de simulação a partir de dados reais fornecidos. No total são totalizados sete veículos responsáveis pela coleta de lixo.

Várias substâncias têm potencial nocivo ao meio ambiente e um dos mais comuns utilizados por todos no cotidiano é o óleo comestível, objeto deste estudo, tendo uso doméstico e uso em grandes escalas nos estabelecimentos comerciais (VIDMANTAS *et al*, 2010). O óleo de cozinha, quando jogado fora de forma imprópria (geralmente na pia), pode gerar grandes impactos ambientais. Normalmente, esse óleo vai para a rede de esgoto ou, até mesmo, para os lençóis freáticos (FREITAS; BARATA; MOREIRA ; NETO, 2010).

O mesmo pode ser utilizado como uma fonte alternativa para a produção do biodiesel, pois qualquer ácido graxo pode servir de matéria-prima para a produção do mesmo. Porém, nem todas essas fontes viabilizam o processo industrial que equilibre economicamente sua produção. Para Freitas *et al*(2010), a produção do biodiesel através do óleo de cozinha agrega grande valor para empresas que utilizam esse processo e para a comunidade, pois todos utilizam o óleo para cozinhar ou fazer outras atividades, é importante ressaltar que impactos ambientais estarão sendo evitados.

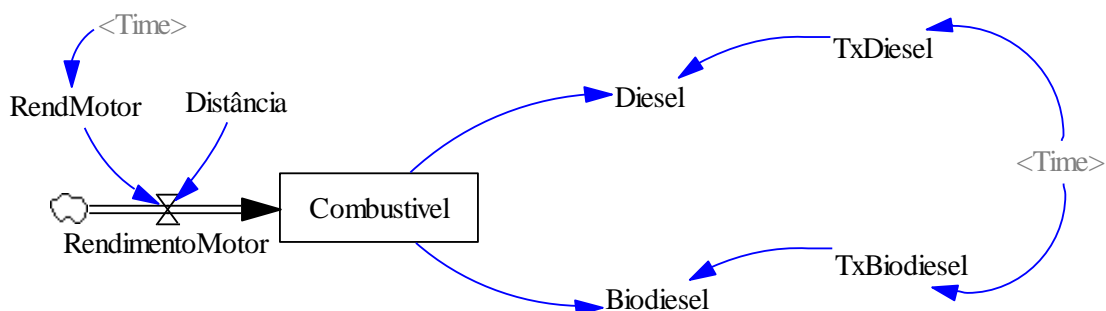
De acordo com o Programa de Gestão Ambiental (PGA), a quantidade de um litro que vai para o corpo hídrico é capaz de contaminar cerca de 18.400 (dezoito mil e quatrocentos) litros de água, equivalente ao consumo de uma pessoa em 14 anos, além de aumentar em 45% os custos no tratamento das redes de esgoto (LIMA *et al.*, 2014). Quando depositado nas redes de esgoto, por ser menos denso que a água, o óleo de cozinha forma uma película sobre a mesma, o que provoca a retenção de sólidos, entupimentos e problemas de drenagem. Nos arroios e rios, a película formada pelo óleo de cozinha dificulta a troca de gases entre a água e a atmosfera, causando a morte de peixes e outros seres vivos que necessitam de oxigênio (OLIVEIRA;FILHO., 2014).

A partir destes fatos foram gerados três modelos computacionais para analisar a transformação do óleo de cozinha em matéria prima. Previamente projetou-se um modelo para analisar a quantidade de combustível gasto na coleta dos resíduos. Na sequência projetou-se um modelo para analisar a geração de biodiesel capaz de suprir a porcentagem utilizada na coleta dos resíduos, por fim foi criado um modelo para analisar o impacto ambiental. Os modelos estão expostos na sessão a seguir.

#### 4.1.1 Modelos Desenvolvidos

Para analisar o comportamento do combustível da coleta foi gerado o submodelo "*CombustívelColeta*". O submodelo é composto de seis variáveis auxiliares: "*RendMotor*" responsável por calcular a média do rendimento dos motores dos sete veículos coletores, "*Distância*" armazena os quilômetros rodados na coleta do resíduo urbano, "*TxDiesel*" e "*TxBiodiesel*" ambas atribuem a taxa de seus respectivos combustíveis e servem de apoio para gerar a quantidade exata de cada combustível utilizado, as mesmas são representadas pelas variáveis "*Diesel*" e "*Biodiesel*" respectivamente. Por fim a variáveis de fluxo recebe o valor da média do rendimento dos motores ("*RendimentoMotor*"), a figura 3 representa a interação de todas as variáveis citadas acima .

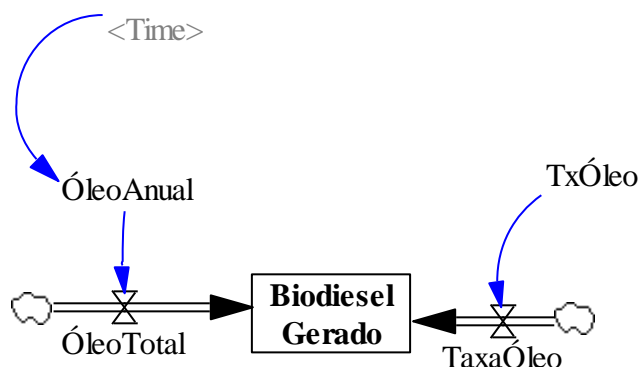
Figura 3. Submodelo “CombustívelColeta”



Fonte: Autor (2017)

O submodelo “*BiodieselGerado*” tem por intenção modelar o comportamento relativo à quantidade de óleo “pós-uso” coletado e com isso analisar a capacidade de geração de biodiesel, conforme o cenário considerado a quantidade de óleo irá variar. A figura 4 representa a interação entre as variáveis do submodelo, o mesmo é constituído de uma variável de estoque “*BiodieselGerado*” que armazena a quantidade (em litros) de biodiesel. As variáveis de fluxo (“*ÓleoTotal*”, “*TaxaÓleo*”) são as variáveis de entrada da variável de estoque, ambas recebem os seus valores a partir das variáveis auxiliares “*ÓleoAnual*”, “*TxÓleo*”. A passagem de tempo no modelo é representada pela variável do tipo “*shadow*” chamada no modelo de “*time*”, neste caso ela está conectada a variável “*ÓleoAnual*” com o objetivo de inserir a variação de óleo coletado nos anos projetados.

Figura 4. Submodelo “BiodieselGerado”



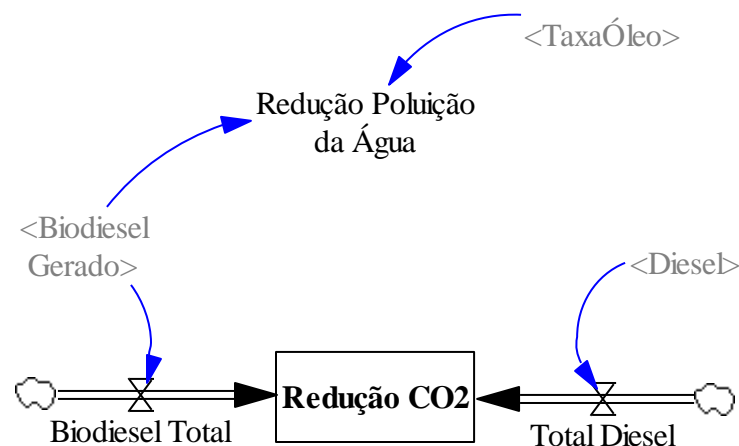
Fonte: Autor (2017)

Para analisar o impacto ambiental gerado pela coleta de lixo nos municípios estudados, criou-se o submodelo “*ImpactoAmbiental*” , representado na figura 5. A variável de estoque “*ReduçãoCO2*” tem por finalidade armazenar a quantidade de CO2 gerado pela coleta, podendo servir como mecanismo de comparação a redução ou

não, de CO<sub>2</sub>, dos veículos coletores utilizando biodiesel. Para inserir dados na entrada da variável de estoque, gerou-se duas variáveis de fluxo: **"BiodieselTotal"** e **"DieselTotal"**. . As variáveis do tipo "shadow" ("**BiodieselGerado**", "**Diesel**") tem como função alimentar a entrada das variáveis de fluxo citadas acima.

Outra análise ambiental do submodelo é a redução da poluição da água, a variável auxiliar **"ReduçãoPoluiçãoodaÁgua"** é a saída desta análise, a mesma possui em sua entrada as variáveis **"BiodieselGerado"** e **"TaxaÓleo"**. A variável **"TaxaÓleo"** determinara a quantidade de óleo utilizado para gerar Biodiesel.

Figura 5. Submodelo "ImpactoAmbiental"



Fonte: Autor (2017)

Todas as equações geradas pelas variáveis estão expostas no quadro 1.

Quadro 1. Modelo de Equações

(1)	ÓleoAnual	=	WITH	LOOKUP	(TIME,	(((2017,0)-
	(2027,20000)],				(2017,18200),(2018,18300),(2019,18400),(2020,18500),(2021,18600),(2022,18700),(2023,18800),(2024,18850),(2025,18870),(2026,18890),(2027,19000) )	)
(2)	ÓleoTotal	=	ÓleoAnual			
(3)	BiodieselGerado	=	ÓleoTotal*TaxaÓleo			
(4)	RendMotor	=	RANDOM UNIFORM (2.8 , 3.27 , 3.12)			
(5)	RendimentoMotor	=	Distância/RendMotor			
(6)	Combustivel	=	RendimentoMotor			
(7)	Diesel	=	CombustivelA*TxDiesel			
(8)	Biodiesel	=	Combustivel*TxBiodiesel			
(9)	Biodiesel Total	=	Biodiesel Gerado			
(10)	Total Diesel	=	Diesel			
(11)	Redução CO2	=	((2.669*Total Diesel)-(2.669*0.85)*Biodiesel Total)			
(12)	Redução Poluição da Água	=	(Biodiesel Gerado * Taxa Óleo)*18400			

Fonte: Autor (2018)

Para realizar a modelagem necessitou-se gerar cenários, eles estão expostos na próxima sessão.

## 4.2 CENÁRIOS

Técnicas prospectivas, como a geração de cenários, originaram-se entre os militares, durante a segunda Guerra Mundial. Utilizadas de forma sistemática, principalmente pelos Estados Unidos da América, para apoio a mecanismos de formação de estratégias bélicas (MARCIAL e GRUMBACH, 2005). Na França, segundo Godet (2000), esses artifícios eram utilizados em estudos de prospecção geográfica, a partir desse fato tal método foi utilizado em setores da indústria e agricultura.

No Brasil, as empresas utilizaram pela primeira vez a análise por cenários entre os anos de 1980 e 1987. Empresas como a Petrobrás e a Eletrobrás possuíam projetos de longo período e necessitavam de uma análise em grande espaço de tempo. Também no final dessa década, o trabalho elaborado pelo BNDES em 1989, de conteúdo mais econômico, teve grande impacto e abriu grande discussão política sobre os cenários do Brasil (MORETTI, 2002)

Para a modelagem desenvolvida neste estudo foram criados três cenários, um simulando a coleta atual, e outros dois simulando as propostas do artigo, no caso a coleta utilizando 10% e 15% de biodiesel. A tabela 3 expõe os cenários modelados.

Tabela 3. Grupo de cenários

	%Diesel	%biodiesel	AnáliseCO2	AnálisePol.Água
<b>Coleta Atual</b>	93	7	Sim	Sim
<b>Coleta B10</b>	90	10	Sim	Sim
<b>Coleta B15</b>	85	15	Sim	Sim

Fonte: Autor (2017)

Ressalta-se que a coleta atual já utiliza sete por cento de biodiesel, valor definido pelo governo federal brasileiro.

## 5. EXPERIMENTO DESENVOLVIDO

Após a definição dos três cenários para a experimentação do modelo foram executadas as simulações no simulador Vensim (VENSIM, 2016) em um computador com processador Pentium Core i5 e 8 Gb de memória RAM. O tempo de execução da simulação foi na ordem de milionésimos de segundos. O horizonte de tempo simulado no experimento foi de 10 (dez) anos, utilizando o ano de 2017 como o ano inicial, porém a configuração dessa variável fica a cargo do projetista / usuário, pois a mesma depende da análise a ser feita.

As decisões, a partir dos resultados gerados pelo modelo, poderão envolver a adoção do combustível proposto (total ou parcialmente), incentivando a redução da emissão de CO2, poluição da água. Outras decisões, tais como, redução de compra de diesel, redução na produção de combustível fóssil, também poderão ser sugeridas. Outras análises e observações de interesse dos gestores ambientais e/ou organizacionais, desde que as mesmas sejam passíveis de execução no modelo de simulação, poderão ser executadas, pois o modelo foi concebido buscando simplificar a interação usuário-

modelo, para que análises do tipo what-if sejam de simples execução. Os resultados serão apresentados na sessão a seguir.

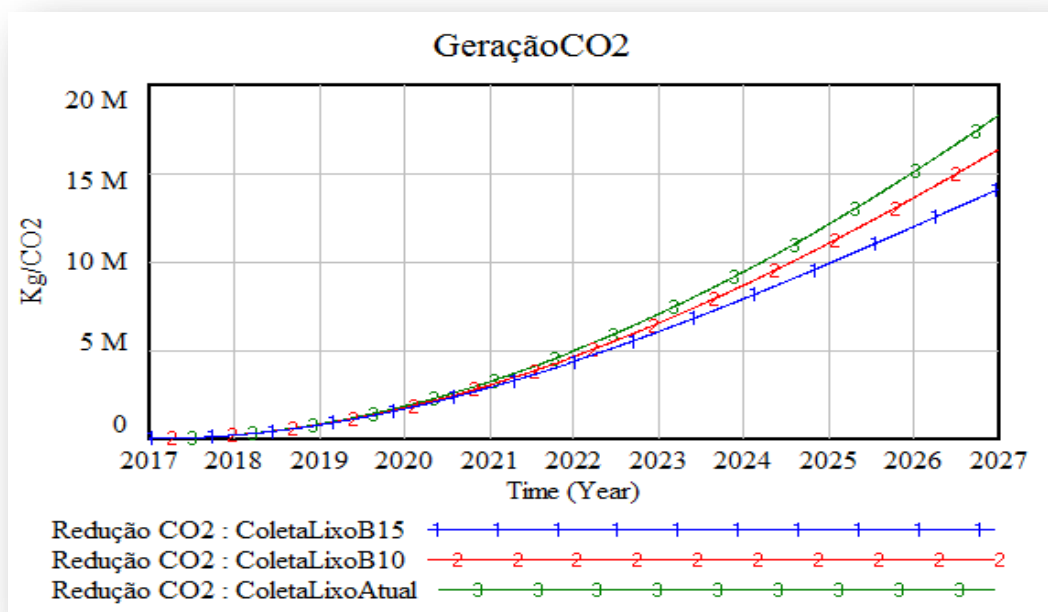
## 5.1 RESULTADOS DO EXPERIMENTO

A cada ano, nossa atmosfera recebe uma crescente quantidade de gás carbônico gerado pelos veículos automotivos. A poluição do ar nas grandes cidades é notória, já que essas apresentam uma maior quantidade de veículos, aumentando a combustão em motores automotivos (SANTOS E SILVA, 2016). Segundo Dias et al (2009), o CO<sub>2</sub> corresponde a 84% dos gases de efeito estufa provenientes das atividades humanas, sendo que 82% dele é resultante da queima de combustíveis fósseis. Muitos compostos químicos são encontrados na atmosfera terrestre atuando como “gases de efeito estufa”. Eles são importantes uma vez que impedem a reflexão total dos raios solares, aquecendo e dando condições de vida na terra (FILHO et al 2013). Assim sendo, o controle de nossas emissões de CO<sub>2</sub> pode limitar os efeitos das mudanças climáticas (ENERGY & CLIMATE CHANGE, 2012; IPCC, 2012). Caso essa emissão não seja controlada, há o risco de tornar crítica a manutenção do ecossistema (EMILIANO et al, 2014).

Devido a grande exploração quanto ao uso dessas fontes energéticas, os primeiros sinais de esgotamento delas foram surgindo (EMILIANO et al, 2014). Partindo da importância do incentivo à redução da emissão de gases maléficos ao meio ambiente, a primeira análise a ser desenvolvida com o uso do modelo é no que se refere à geração de CO<sub>2</sub>. A figura 6 apresenta o gráfico demonstrando as diferenças entre os três cenários estudados nesse quesito.

Essa análise parte do pressuposto que, com o prolongamento do ciclo de vida do óleo “pós-uso”, surge uma nova ferramenta para combater a poluição ambiental. O resultado mostra, que ao fim de 10 anos, o cenário “ColetaLixoB15” apresenta redução na geração de CO<sub>2</sub> de, aproximadamente, quatrocentos e dezesseis mil quilogramas de CO<sub>2</sub> em relação ao pior cenário (ColetaLixoAtual), uma diferença de aproximadamente 19,24 % (dezenove vírgula vinte e quatro por cento). A média diária de geração do cenário com menor impacto ao meio ambiente é de, aproximadamente, três mil quilogramas de CO<sub>2</sub>, enquanto o pior cenário apresenta uma geração de cinco mil e sete quilogramas de CO<sub>2</sub>. O cenário “ColetaLixoB10” apresenta o segundo melhor desempenho, reduzindo em até cento e noventa e dois mil quilogramas de CO<sub>2</sub> a mais que o cenário “ColetaLixoAtual”, em contrapartida apresenta um índice de poluição de 12,24 % (doze vírgula vinte e quatro por cento) maior que o cenário “ColetaLixoB15”.

Figura 6. Geração CO2



Fonte::Autor (2017)

Totalizando cada ano da modelagem, o cenário “ColetaLixoAtual” irá gerar cerca de setenta e dois mil toneladas, tornando assim o cenário com maior índice de poluição, reforçando a idéia positiva em utilizar biocombustíveis na coleta de lixo urbano, gerando cerca de seiscentos e sete mil quilogramas de CO2 ao mês. Para uma melhor compreensão, apresenta-se na tabela 6 a quantidade total de geração de CO2 por cenário.

Tabela 4. Emissão de CO2 até 2027

	ColetaLixoAtual	ColetaLixoB10	ColetaLixoB15
<b>GeraçãoCO2</b>	18.376.100	16.353.100	14.114.600

Fonte::Autor (2017)

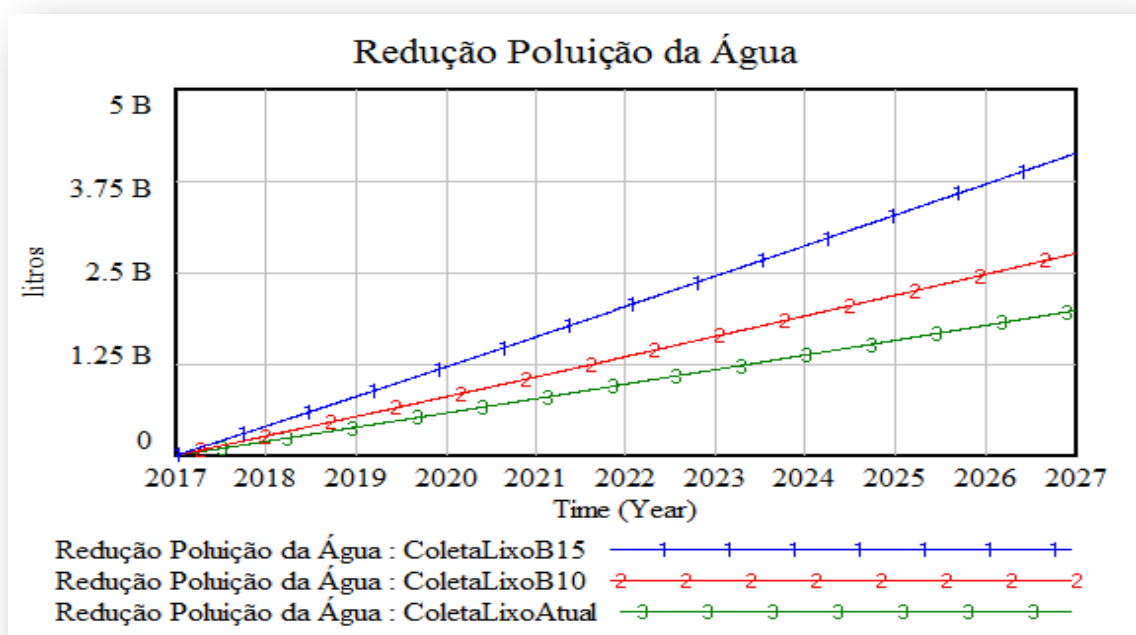
Outra análise realizada no modelo de simulação diz respeito à quantidade de óleo “Pós-uso” que não é descartado no meio ambiente, aferindo a quantidade de água potencialmente não poluída. O resíduo do óleo de cozinha gerado diariamente, segundo Castellaneli *et al.* (2007), acaba sendo descartado de forma inadequada diretamente nos rios, pias ou no solo, causando danos como entupimento dos canos e o encarecimento dos processos das estações de tratamento, além de acarretar a poluição do meio aquático, ou, ainda, o lixo doméstico – contribuindo para o aumento das áreas dos aterros sanitários.(JUNIOR *et al.*, 2009). A quantidade média anual de lixo gerado por apenas uma pessoa é de cerca de quatro litros de óleo usado (DONATO, 2008).

Atualmente, o combustível utilizado na coleta já apresenta 7 % (sete por cento) de biodiesel gerado de óleo vegetal, sua capacidade de redução no impacto ambiental da poluição da água nos 10 (dez) anos de coleta é de, aproximadamente, cento e noventa

e sete milhões de litros de água. Apesar da grande quantidade de água preservada, esse cenário apresenta a pior taxa de redução.

Pela figura 7 nota-se o cenário “ColetaLixoB15” com a melhor redução. Ao final do ano dez, esse cenário irá preservar cerca de 412 milhões de litros d’água, uma diferença de, aproximadamente, treze milhões de litros de água quando comparado ao cenário “ColetaLixoB10”, o qual apresenta uma média diária de redução setenta e cinco mil e trezentos e quarenta e dois litros de água, sendo assim o segundo melhor cenário estudado. A diferença fica mais extensa quando se compara o cenário com maior impacto ambiental(ColetaLixoAtual) com o mais positivo ao meio ambiente. Separam esses dois cenários cerca de 20.000.000 de litros d’água, uma diferença de aproximadamente 77 % (setenta e sete por cento).

Figura 7. Redução da Poluição da Água



Fonte::Autor (2017)

O cenário “ColetaLixoB15” proporcionou um melhor desempenho, preservando diariamente, da poluição acarretada pelo mal descarte do óleo de cozinha, cento e doze mil litros d’água, a coleta atual de lixo, apesar de poupar cinquenta e quatro mil litros diários, apresentou o pior desempenho.

Assim, o resultado denota a importância de possuir políticas de sustentabilidade ambiental e financeira, podendo diminuir o impacto do descarte incorreto do óleo de cozinha, gerando assim um ganho ambiental e econômico.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ser humano sempre precisou dos recursos ambientais para a sua sobrevivência. Porém, a partir da revolução industrial tomou uma dimensão muito maior e, dessa forma, a natureza não consegue se recuperar no mesmo ritmo da degradação (MASCARENHAS E SILVA, 2013). De acordo com Donato (2008), a quantidade média anual de lixo gerado por apenas uma pessoa é cerca de quatro litros de óleo usado (vegetal ou mineral). Esse produto, descartado no meio ambiente de forma incorreta, acarretará problemas ambientais como a degradação do solo, água e seres vivos, pois cada litro de óleo em contato com rios e mares poluirá cerca de mil litros de água, além de contribuir para a extinção de seres vivos, por ser mais denso que a água e ficar na superfície da mesma, prejudicando a respiração dos animais.

As diversas possibilidades de reaproveitamento do resíduo estão relacionadas à Sustentabilidade, pois abrangem o fator econômico, o fator social e o fator ambiental. Quando em contato com o meio ambiente, impermeabiliza solos propiciando enchentes e deslizamentos e, em contato com a água, além da poluição, o óleo fica na superfície impossibilitando a respiração dos seres desta fauna (MASCARENHAS E SILVA, 2013)

A articulação do problema de pesquisa obteve-se através de dois aspectos importantes: Modos de referência e Horizonte de tempo. Modos de Referência: é definir o problema dinâmico, observando o histórico do comportamento dos conceitos e variáveis chaves e prevendo seu comportamento no futuro. Horizonte de Tempo: deve-se considerar o passado, o presente e o futuro do problema, mostrando assim, como o problema está se comportando e descrevendo os sintomas. E, captará o efeito do problema no futuro (SILVA, 2006).

O modelo computacional possui variáveis, como por exemplo, GeraçãoCO<sub>2</sub>, na qual o sistema poderá verificar a quantidade de gás carbônico gerado por cada cenário, provendo ao gestor uma visão do impacto ambiental provocado. A partir dos resultados gerados pela simulação, os gestores poderão definir as políticas de compras de combustível, levando em consideração a sustentabilidade financeira e ambiental no processo decisório.

Os resultados obtidos são condizentes com a realidade. As taxas utilizadas foram desenvolvidas pelo projetista do modelo para realização deste estudo. Cabe ressaltar que os cenários foram gerados para esse experimento, porém o modelo pode ser configurado conforme as necessidades de quem for utilizá-lo, ou seja, é um modelo reconfigurável e aberto.

Com relação específica aos resultados obtidos, para os cenários avaliados, o cenário contendo quinze por cento de biodiesel apresentou os melhores resultados. Como trabalhos futuros, pretende-se expandir o modelo a outras áreas de coleta que não foram considerados no estudo, tais como, a cidade de Santa Maria e, também, considerar na avaliação os benefícios sociais que podem ser gerados, como por exemplo, a geração de emprego.

## REFERÊNCIAS

Andrade, a.l, Seleme, a., Rodrigues, l.h., Souto, r. Pensamento Sistêmico: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade. Porto Alegre, Bookman, 2006.

bechet,q.;shilton,a.;fringer,o.b.;munoz,r.;guieysse,b.*Mechanistic Modeling of Broth Temperature in Outdoor Photobioreactors. Environmental science&technology*, v.44, n.6, p.2197-2203, 2010.

Brasil. Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Brasil. Lei nº 11.116, de 18 de maio de 2005. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 19 mai. 2005.

Brasil, 2006. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

Carioca, J.O.B.; Almeida, M.F.L. Desenvolvimento da química verde no Brasil. Revista de Química Industrial, v.79, n.730, p. 3-8, 2011.

Chwif, L.; Medina, A.C. Modelagem e Simulação de eventos discretos: Teoria e Aplicação, 4ed. Elsevier. Rio de Janeiro. 2015.

Demirbas, M.F. *Biorefineries for biofuel upgrading a critical review. Applied energy*, v.86, n5151-5161, 2009.

Dias, M.F.P.D.; Junior, S.S.; Rosa, N.P.; Mendonça, E. ; Silva, T.N. Análise da sustentabilidade da produção de biodiesel de soja no Brasil, Revista Administração, V.9, n. 14, p. 13-45, 2009.

Energy & Climate Change.*World business council for sustainable and development*.Disponível em: <<http://www.wbcsd.org>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

Emiliano, W.M; Estrazulas, T.S; Gonçalves, T.P; Santos, A.J; Machado, A.V. Impacto da Utilização do biodiesel no Transporte Coletivo de Joinville – SC, Revista Verde (Mossoró – RN), v. 9, n.1, p.176-185, jan-mar, 2014.

Freitas, C. F.;Barata, R. A.; L. Neto S.M, Utilização do óleo de cozinha usado como fonte alternativa na produção de energia renovável, buscando reduzir os impactos ambientais, *inXXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 2010.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS Projetos.O biodiesel e sua contribuição para o desenvolvimento brasileiro.Disponível em: <http://www.ubrorio.com.br>. Acesso em mai de 2018.

Godet, M. A. Caixa de ferramentas da prospectiva estratégica. Cadernos do Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégica. Lisboa: Cepes, 2000.

IBGE: Contagem Populacional 2007 e Censo Demográfico 2010, disponível no link <http://www.cidades.ibge.gov.br>, acesso em ago 2018.

IPCC. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York: Cambridge University Press, 2012

Knothe, G;Krahl, J.;Gerpen,J.V. Manual de biodiesel. São Paulo. Edgard Blucher,2006.

Lam, M.K. Homogeneous, heterogene for transesterificationof high free fatty acidoil (waste cooking oil) to biodiesel.review Biotechnology Advances Volume 28, Issue4, July–August 2010, Pages 500–518, 2010

Law, A.M. *Simulation Modeling and Analysis*.5Ed., McGraw-Hill, 2015.

Lee (2010),

Leite, R.C.C. Leal, M.R. L. V. O Biocombustível no Brasil.Revista Novos Estudos, Julho/2007.

Lima, R. A. Aplicação do Projeto Didático-Pedagógico “Sabão Ecológico” em uma Escola Pública de Porto Velho – RO. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, n. 3, p.1268-1272, 2014.

Maia, R.R.S. Biodiesel no Brasil análise de custo-benefício. Editora annris, Curitiba, Paraná, 2015.

Marcial, E. C.; Grumbach, R. J. S. *Cenários prospectivos: como construir um futuro melhor*. 3. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2005.

Martins, C.; Junior, P.P.A. Produção de biodiesel no Brasil: estratégia de sustentabilidade social, econômica e ambiental, *Sustainable Business*, nº 40, 2014.

Masjuki, H.H.;Fazal, M.A.; HASEEB, A.S.M.A.; Biodiesel feasibilitystudy: anevaluationof material compatibility; performance; emission and engine durability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 2, p. 1314-1324, 2011.

Mendes, P.A.S. Sustentabilidade na produção e uso do biodiesel. Curitiba. Annris. 2015.

Meyer, D.D.Avaliação da biodegradabilidade de misturas de diesel e de biodiesel (B0, B20 e B100) em dois solos com diferentes granulometrias. 2011. 146 f. Dissertação (Mestre em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - UFRGS, Porto Alegre, 2011.

Moretti, C. S. Cenários em segurança: visão prospectiva. São Paulo: Universidade Corporativa de Risco Empresarial (URE)/Brasiliano & Associados, 2002.

Oliveira , B. M. G ; Sommerlatte, B. R. (2009). Plano de Gerenciamento Integrado do Resíduo óleo de cozinha.Disponível em :

<[http://www.projetoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/pgi\\_oleo\\_cozinha.pdf](http://www.projetoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/pgi_oleo_cozinha.pdf)>, acessado em mai. 2018 .

Rodrigues, G.O; Simonetto, E.O.;Ravanello, F.; Beltrame, G.; Motke, F. sustentabilidade no uso do biodiesel: modelagem computacional baseada em dinâmica de sistemas, Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 14, n. 1, p. 930-946, jan./jul. 2016.

Santos, M.X; Silva, J.GF.; Aproveitamento do óleo residual de fritura na produção de biodiesel. Rev. Eletrônica Mestr. Educ. Ambient. E-ISSN 1517-1256, v. 33, n.1, p. 299-306, jan../abr., 2016.

Souza, V.H.A.S;Santos, L.T.S;Campos, A.F.C;Carolino, J. Um panorama do biodiesel no Brasil e no mundo: esforços para a ampliação do setor e desafios,Rev. Augustus, Rio de Janeiro, v. 2 1, n . 41, 2016.

Tavares, B.M.; Da Silva. S.R.R. Biodiesel: fonte de combustível limpo atuando como rica contribuição estratégica, social e ecológica na região de Lins, Monografia apresentada ao Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UNISALESIANO, Lins-SP, para graduação em Administração, 2008.

Vensim – *Ventana Simulations* , *Vensim simulation software*. Disponível em:<<http://www.vensim.com>>, 2018. Acessado em ago. 2018.

Ventana Systems.*Vensim Simulation Software*.Availableat: <http://www.vensim.com> .Acessado em fev, 2018.

Vidmantas, J.B.D ; Tirole, C.A.S ; Bigatão, D.A.R ; Junior, M.F.J. Estudo do Destino de Resíduos Oleosos em Estabelecimentos de Comida Rápida, Situados em Shopping na Cidade Dourados/MS, III Simpósio Intercâmbio Brasil-Japão em Sustentabilidade: Um Desafio da Humanidade, Campo Grande, Mato Grosso, 2010.

Zhang,L;K ,S.C. *Vaporization modeling of petroleum-biofuel drops using a hybrid multi-component approach*.*Combustionand Flame*, v.3/, n-6, p.2448-2955, 2010.